

2021 年臺灣國際科學展覽會 優勝作品專輯

作品編號 160017

參展科別 物理與天文學

作品名稱 氣流引入效應及社交距離應用之探討

就讀學校 國立臺南第一高級中學

指導教師 劉演文

作者姓名 霍民邦

關鍵詞 氣流引入(entrainment)、
社交距離(social distance)

作者簡介



大家好，我是霍民邦，來自台南一中 319 班。這次一個人參加 2021 國際科展的物理與天文科，科展題目是氣流引入效應及社交距離應用之探討。期許作品的模型可以被改良，並能幫助舒緩嚴峻的疫情。而我除了喜歡科展外，也喜歡看電影、運動、聽音樂、看小說，希望能在這次的科展中認識有同樣嗜好的朋友。請大家多多指教，謝謝!

摘要

本研究接續前系列作品結果並聚焦於探討氣流引入的機制。由於溫度最容易測量，因此此份作品環繞於溫度變化的分析。作者首先以初步實驗測量氣流溫度變化並比較現實觀察結果印證實驗的準確性。接著，以進階實驗探討氣體在流動路徑上和截面上的動向。在路徑上，氣體的總引入百分比(P_x)隨氣流水平位移而變化，並在 0~5 公分符合對數關係及在 5~20 公分符合線性關係。此外，氣體的單位距離引入百分比(Q_x)不隨水平向位移而明顯變化。另外，氣流在截面的分佈情形觀察與現實狀況相符。

最後，透過觀察不同密度氣體和分析實驗結果歸納出氣體的定量分析。而由於實驗發現當口徑為 0.4 公分時，氣體釋出達 18 公分的過程中，初始氣團充分引入外界氣體，使得其性質相當接近周圍環境，若將此模型到用於更多口徑，可以應用於人群密集、空間有限的情形中，使人們能避免暴露於氣體可能觸及的位置，不僅可降低傳染可能性，也可使社交距離較能符合日常生活情境並增加其實用性。

Abstract

This version of research is based on the premise of the previous series of experiments, with focus on the investigation of entrainment. Because temperature could be easily detected, this project revolves around the data of temperature changes. Preliminary measurements are conducted to confirm and compare with the experimental results. Advanced experiments are later conducted to look into gas motion on the route, and on the cross section. It turned out that the total entrainment percentage fits into logarithmic function and linear function at particular distances to the opening respectively, and the entrainment percentage per cm does not change significantly when distances to the opening differ. Furthermore, the distribution of gases on the cross section coordinates with the reality.

Finally, gases with different density were observed and the quantitative analysis was applied to analyze gas motion. This attempt could be applied to overcrowded places with limited space. According to the experimental results, the initial gases released from caliber opening of 0.4cm entrain in its surrounding air throughout the whole entrainment process. And the characteristic of final air mass is similar to that of its surroundings. By applying this result, it may not only keep people from the exposure to viruses and thus lessen the risk of contracting diseases, but also help make social distancing more practical.

壹、前言

一、研究動機

由前份報告，作者得知「氣流引入」最符合所預測的情形，於是設計進一步的實驗，針對「氣流引入」作用的影響進行測量，以證實「氣流引入」符合在現實中的預期，同時也探討「氣流引入」過程中的變化。並在最近新型冠狀病毒肆虐之時，政府時時呼籲民眾維持社交距離，但是其引用美國 CDC 採用至少 1.5 公尺的社交距離不甚合理，由於在人群密集處不易達成此要求。因此作者嘗試藉此實驗探討社交距離以及口腔氣體的可能傳播位置與範圍，和在不同水平位置的病株濃度。

二、研究目的

- (一)觀察氣流引入在現實中的效應
- (二)研究氣流引入的理論並對照現實情形
- (三)研究氣體流動的情形
- (四)探討氣體溫度分布的情形
- (五)探討氣體吹出後的分布位置，並藉此定義可能傳染範圍和病株濃度

貳、研究設備及器材

測量儀器

		
記憶式熱線 風速風量溫度計	TES-1310 探針型數位溫度計	PASCO 高速反應溫度探針

		
紅外線測溫槍	PASC0550 通用主機	紅外線熱顯像儀

表 1-1 測量器材

自製器材

(1) 材料

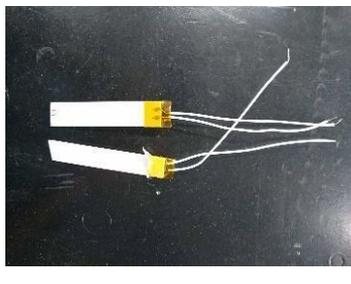
		
馬桶疏通器	130cm 厚紙筒	薄型高溫陶瓷加熱器
		
黏土	目標物	紗布
		
直流電源裝置	115cm PVC 塑膠管	造霧器

表 1-2 自製器材材料

(2) 製作方式

- 1、 將馬桶疏通器切開，前半部連同把手作為推進處，後半部作為活塞。
- 2、 利用塑膠管連結馬桶疏通器前後兩部份，以延長推進距離及時間。

- 3、 利用電鑽在厚紙筒前端鑽洞，放入兩片薄型高溫陶瓷加熱器和溫度計的探針，並利用熱熔膠槍將洞孔封緊，避免漏氣影響實驗結果。
- 4、 以長度 130cm 的厚紙筒模擬口腔氣室，藉由較長的推進距離降低誤差。
- 5、 將加熱器連接電源，以調整電壓的方式改變加熱程度模擬口腔氣溫。
- 6、 在不同的培養皿上鑽出不同口徑的孔洞，分別為 0.40cm、0.80cm、1.20cm、1.70cm、2.7cm，模擬不同的張口程度。

3. 其他

		
熱熔膠槍	電鑽	電工膠帶

表 1-3 其他器材

參、研究過程與方法

一、研究架構

本研究首先收集相關文獻和理論，先針對人體吹氣進行觀察，再進行初步實驗。又進一步利用自製的器材搭配不同口徑的出風口，模擬口腔吹氣的情形，研究影響氣流引入的因素及氣流引入的機制。



圖 1 研究流程圖

二、現象觀察

(一)口腔內外氣體條件的測量

1.觀察氣體在是否經過吸管後，對目標物表面溫度的影響:

- (1) 粗吸管的直徑：1.10cm，細吸管的直徑：0.50cm。
- (2) 口腔內氣溫度：35.7℃，環境氣溫：30.3℃。
- (3) 固定口腔出口處到目標物的距離，利用吸管隔絕外界氣流引入，並測量目標物的表面溫度，以比較引入氣流對目標物表面溫度的影響。
- (4) 由實驗結果（表 2）可知，不論吸管粗細，使用吸管吹氣時目標物的表面溫度皆會較沒用吸管時高約 2.0~3.5℃。此外，目標物的表面溫度會介於口腔內氣溫與環境氣溫之間。
- (5) 實驗結果說明氣流引入的確存在。並顯示使用小口徑時，目標物的末溫較使用大口徑高，說明口徑越小，引入氣流的效率也越高。



圖 2 觀察使用吸管與否對目標物表面的溫度影響

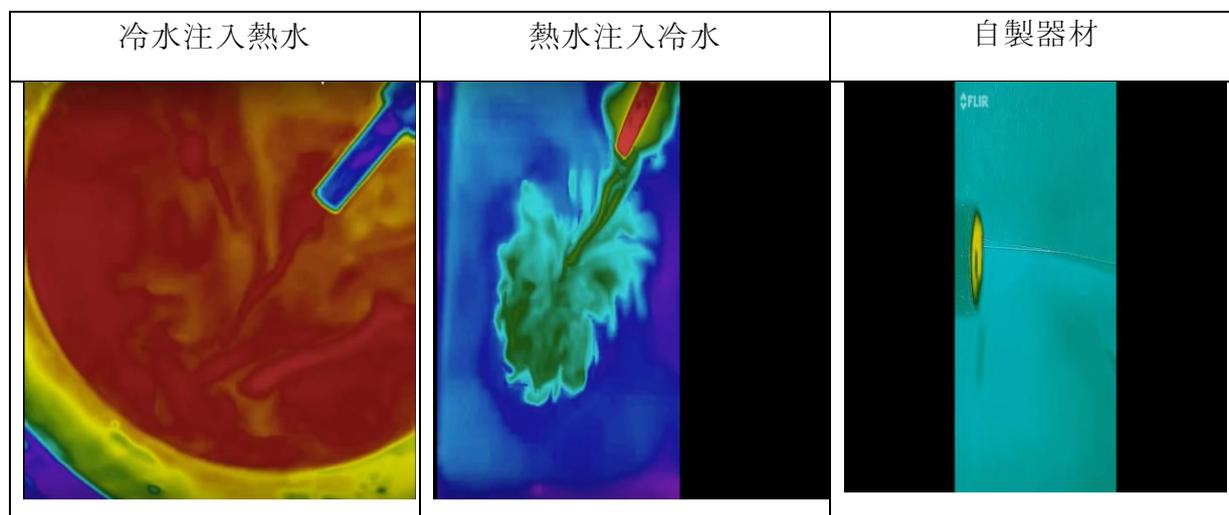
與目標物的距離	是否使用吸管		目標物表面溫度(°C)			
			1	2	3	平均
10cm	是	粗吸管	34.0	34.0	35.0	34.3
		細吸管	33.0	32.4	32.9	32.8
	否	哈氣	31.1	31.2	31.1	31.1
		吹氣	30.9	30.7	30.8	30.8

5cm	是	粗吸管	34.3	34.1	35.0	34.3
		細吸管	33.2	33.3	33.1	33.2
	否	哈氣	31.7	32.0	31.5	31.7
		吹氣	31.2	31.3	31.0	31.2

表 2 觀察使用吸管與否對目標物表面溫度的影響數據

(二)流體現象觀察

1. 為了觀察氣流引入效應，我們曾嘗試以紅外線熱顯像儀(FLIR ONE)來拍攝口腔吹氣與實驗時厚紙筒推氣時的氣流狀況，可惜空氣的能量密度不足以顯示出清晰的氣流混合影像。
2. 因此我們改以利用兩種不同直徑的針筒分別將熱水注入冷水和冷水注入熱水中。並利用 FLIR ONE 紅外線熱顯像儀觀察，使現象視覺化，可以發現：
 - (1)不同口徑造成的液體流動情形差異不明顯。
 - (2)熱水注入冷水中的現象較冷水注入熱水中明顯。
 - (3)射出的液體溫度會介於針筒內的溫度與外界液體的溫度之間。
 - (4)射出的液體會帶動旁邊液體流動，兩液體間逐漸融合，距離針筒出口處越遠，融合效應越明顯，導致溫度逐漸與外界液體溫度相近。
 - (5)液體距離出口處越遠，流動的散佈面積越大。



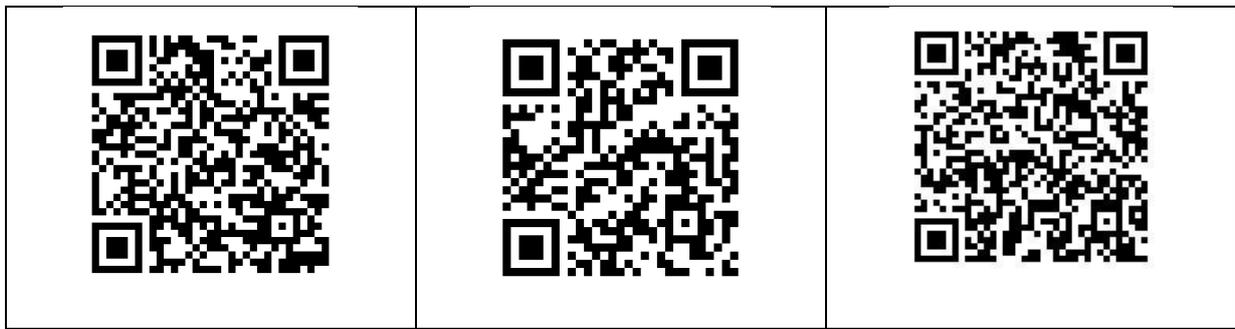


表 3 流體現象觀察

(三)氣流現象觀察

- 1.將造霧氣置於自製器材前，利用造霧氣產生高溫的水蒸氣，水蒸氣遇冷形成小水滴，液體的能量密度較氣體高，故可使氣流流動情形視覺化。
- 2.由於熱顯像儀僅以色調表示溫度高低，故將影片匯入 tracker 中，利用強度分析功能，得出 RGB 色彩模型之數值，由於 B 值的趨勢與溫度的趨勢較一致，利用 B 值強度搭配已知位置的溫度，將 B 值推算成溫度。
- 3.由實驗數據可以發現，越靠近出風口的位置，其溫度越高，然而，有部分數據點並非呈現相同的趨勢，因 B 值對應溫度之函數並非嚴格遞增。
- 4.相對於溫度計僅能觀測測量「點」的溫度，熱顯像儀可觀測測量「面」的溫度，且能夠觀察溫度隨時間的變化情形，但無法準確紀錄數據。

		與出風口距離 (cm)										
		0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
截 面 上 與 中 心	1.0	35.3	37.8	43.1	34.0	35.3	33.0	32.8	34.6	34.4	34.1	34.4
	2.0	38.2	42.8	43.1	34.0	34.3	34.6	34.4	34.7	34.6	34.5	34.7
	3.0	37.7	43.9	42.7	33.6	34.3	34.2	34.4	34.3	34.4	34.5	34.5
	4.0	37.6	43.6	42.9	33.6	33.8	34.3	34.1	34.4	34.5	34.5	34.5
	5.0	41.8	44.0	39.5	33.9	34.0	34.3	34.1	34.6	34.9	34.8	34.7

的 距 離 (c m)	6.0	39.8	42.7	42.5	35.9	33.9	34.2	34.2	34.5	34.8	34.8	34.8
	7.0	38.4	42.0	42.2	37.4	32.8	34.4	34.5	34.5	34.7	34.8	34.8
	8.0	40.0	41.4	40.4	36.4	33.4	34.2	34.5	34.8	34.7	34.5	34.8
	9.0	40.1	41.3	39.1	36.7	33.0	34.3	34.5	34.8	34.5	34.5	34.8
	10.0	39.7	40.9	38.5	35.9	32.8	33.3	34.5	34.8	34.6	34.8	34.8
	11.0	39.0	39.8	38.4	36.1	32.7	33.5	34.6	34.8	34.8	34.7	34.8
	12.0	38.6	38.8	37.5	35.9	32.7	32.9	35.0	34.5	34.9	34.9	34.9
	13.0	38.5	38.4	36.9	35.8	32.6	33.0	34.2	34.9	34.7	34.9	34.9
	14.0	37.9	38.6	37.0	36.3	33.1	32.9	34.4	34.3	35.1	34.9	34.9
	15.0	38.0	38.0	36.8	35.4	32.9	32.7	33.9	34.3	35.2	34.8	35.0
	16.0	37.6	37.4	37.1	36.0	34.1	32.5	33.1	33.9	35.3	34.7	35.0
	17.0	37.1	37.0	37.2	35.4	34.1	32.5	34.0	34.2	34.7	34.8	35.0
	18.0	36.9	36.9	37.3	36.3	34.3	32.7	33.5	34.5	34.4	34.9	34.8
	19.0	36.7	37.2	36.5	35.5	34.1	32.9	33.9	34.2	34.2	34.8	34.8
	20.0	36.5	33.7	36.5	35.5	33.9	32.9	33.6	34.1	34.1	34.5	34.5

表 4 氣流現象觀察

三、初步實驗:氣流引入

(一)理論:

由於氣體在快速流動時靜壓較小，因此會引入環境中的空氣，又因為空氣的莫耳比熱相同，故藉由能量與溫度變化量的公式 $Q = \sum mc\Delta T$ ，再比較實驗前後氣溫變化，即可知氣流引入環境中溫度不同的空氣比例。

(二)實驗步驟:

- 1.每次對氣室的推進時間固定為 7~8 秒。
- 2.藉由自製器材模擬口腔情形，利用數位溫度計測量當電源定為 0V、3V、6V、9V 時，高溫陶瓷加熱器加熱後氣室內所對應的溫度。
- 3.利用記憶式熱線風速風量溫度計測量當出風口徑為 0.40cm、0.80cm、1.20cm、1.70cm、2.70cm 時，出口風速分別為何。
- 4.每次實驗後，將推桿後拉，使氣室的體積回復最大，靜待陶瓷加熱器重新加熱。當溫度計

的讀數固定不變時，再進行下一次的推進。

5.利用膠帶、紗布、黏土製作可固定的目標物。

6.以直尺在實驗桌上標記 5cm、10cm、15cm 的位置放置目標物。調整不同口徑的出風口及設定氣腔溫度後推出氣體，以紅外線測溫槍測量目標物放在不同位置時其表面的溫度，多次測量後計算平均值。

7.利用手機拍攝儀器的顯示螢幕，再將影片匯入 tracker 軟體中，逐格紀錄影格畫面中的數據，每秒紀錄 60 個數據並分析數據。

8.在烤箱重複步驟(1)~步驟(7)，探討氣室溫度小於環境氣溫之情形。



圖 3 初步實驗圖

四、進階實驗 1:探討氣流引入的機制

藉由初步實驗中的氣流引入實驗可以發現，氣體流動的過程中，隨著距離出風口越遠，其氣流引入百分比越大。然而，氣體流動過程中，氣壓並沒有變小的趨勢，故氣體引入越來越多空氣，應該會造成流動的體積不斷變大，進而造成氣體流動的截面積越來越大。利用利用與初步實驗相同的裝置及實驗方法，將 PASCO 高速反應溫度探針固定在目標物上，距離出風口 0cm、1cm、2cm 處的位置，觀察其溫度隨距離的分布情形。

五、進階實驗 2:探討氣體流動情形

相較於大氣中的成分氮氣佔 78%、氧氣佔 21%、氫氣佔 0.96%、二氧化碳佔 0.03%、其他氣體佔 0.01%，人體呼出的空氣氮氣佔 78%、氧氣佔 13%、二氧化碳佔 4%、水氣佔 5%、其他

氣體佔 1%，其二氧化碳和水氣比例提高許多。因此，此實驗利用與初步實驗相同的裝置，在氣腔內放置乾冰以提供二氧化碳來源，或以造霧器提供水蒸氣來源，而乾冰昇華後的二氧化碳溫度較低，會造成沸點較低的水氣凝結，使氣流流動情形可被視覺化



圖 4 利乾冰探討氣體流動情形/利用造霧器探討氣體流動情形

肆、研究結果

一、初步實驗:氣流引入

(一) 實驗結果:

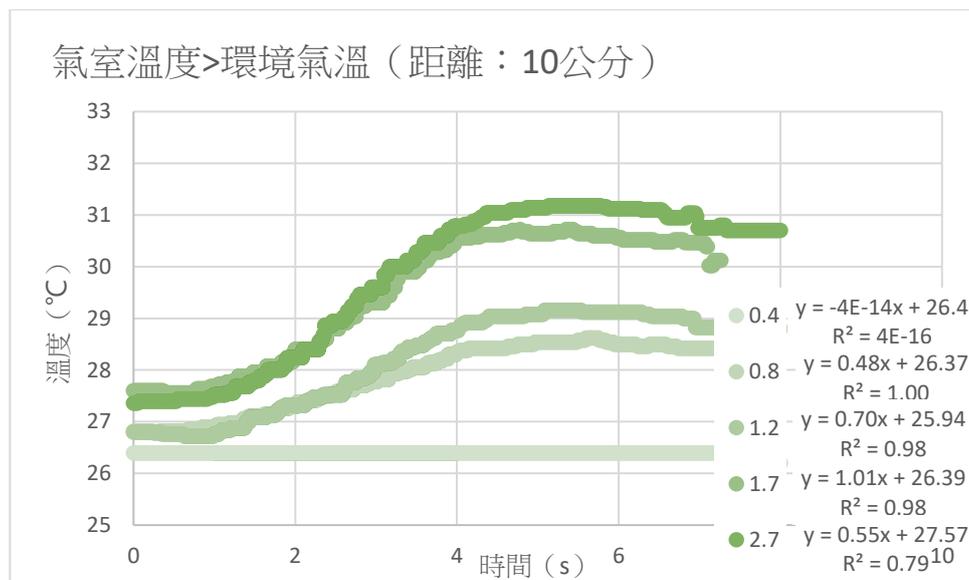


圖 5 氣室溫度大於環境氣溫的溫度趨勢圖

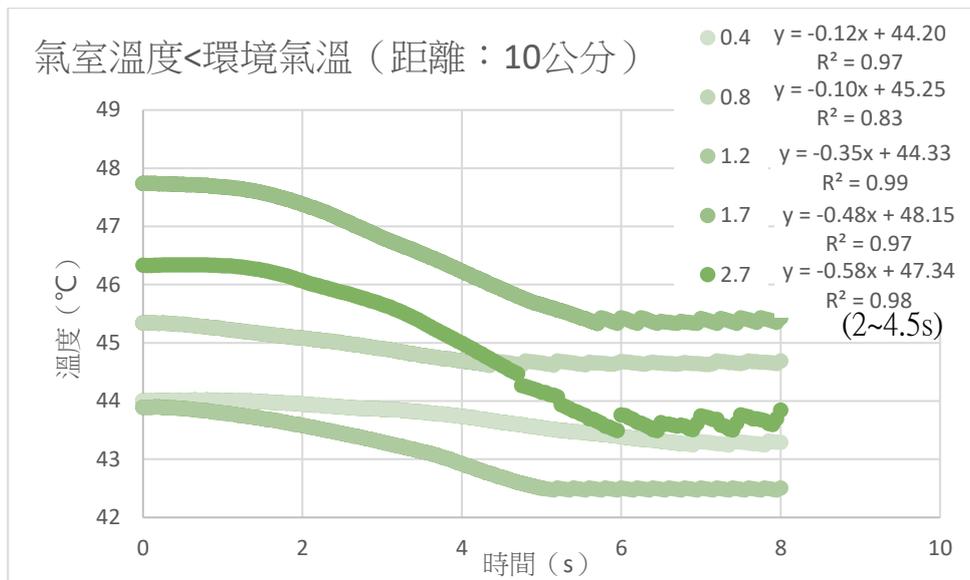


圖 6 氣室溫度小於環境氣溫的溫度趨勢圖

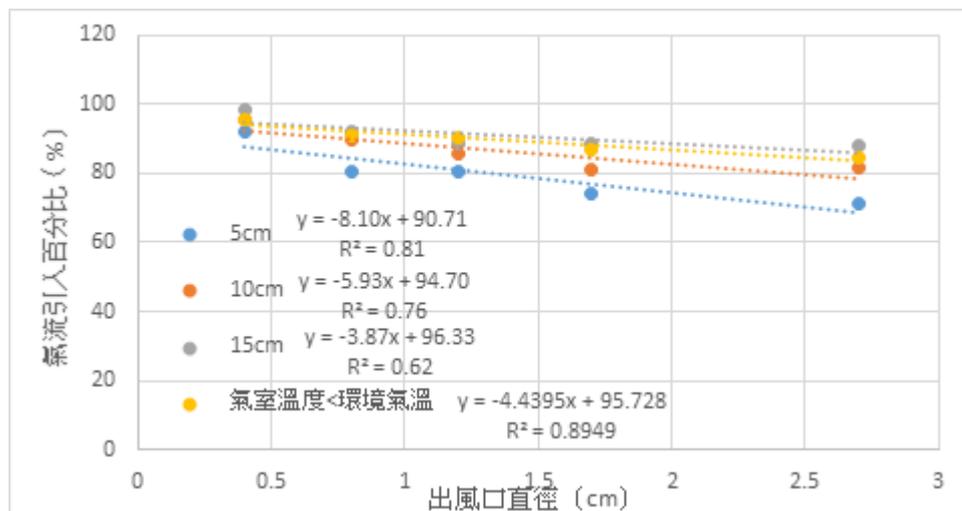


圖 7 氣流引入百分比與出風口直徑之關係

(二) 討論:

- 1.因氣室內氣體與環境氣體的成分相同，故莫耳比熱相同。
- 2.由能量與溫度變化的公式可知，設氣室溫度 T_1 、環境氣溫 T_2 、目標物表面溫度 T ，且接觸目標物的氣體是由 N_1 莫耳氣室氣體和 N_2 莫耳的環境氣體組成，在無熱量喪失的情況下可由以下計算方式得到氣流引入的百分比，使數據可以被量化，而能在同一基準上被比較:

$$(N_1 + N_2)T = N_1T_1 + N_2T_2$$

$$\rightarrow N_1(T - T_1) = N_2(T_2 - T)$$

$$\rightarrow N_1:N_2 = (T_2 - T):(T - T_1)$$

$$\text{氣流引入百分比例} = \frac{N_2}{N_1 + N_2} * 100\%$$

$$= \frac{T - T_1}{(T_2 - T) + (T - T_1)} * 100\%$$

$$= \frac{T - T_1}{T_2 - T_1} * 100\%$$

- 3.未加熱時，氣室氣溫與外界環境溫度相同，相較別組數據，氣流引入百分比比較無規律，甚至出現超過 100%的數據。
- 4.當氣室溫度大於環境氣溫，口徑越小，溫度上升越少，口徑越大，溫度上升越多；當氣室溫度小於環境氣溫，口徑越小，溫度下降越少，口徑越大，溫度下降越多。觀察這兩個情形，都發現使用小的口徑時，溫度改變大，代表口徑越小則引入外界氣體的效率越高。
- 5.不論距離為何，出風口直徑越大，在目標物上測得氣流引入百分比越小，也就是說，原氣室內的氣體佔到達目標物的氣體比例較高，導致目標物溫度和室溫差異較大。
- 6.不論出風口直徑為何，目標物距離出風口越遠，目標物的氣流引入百分比越大，也就是說，引入的外界環境的氣體越多，而原氣室內的氣體溫度高於外界環境的氣體溫度，故會導致目標物表面溫度和室溫差異較小，溫度上升幅度較小。

二、實驗 1: 探討氣流引入在截面上的情形

(一)電壓 5V

1.實驗結果:

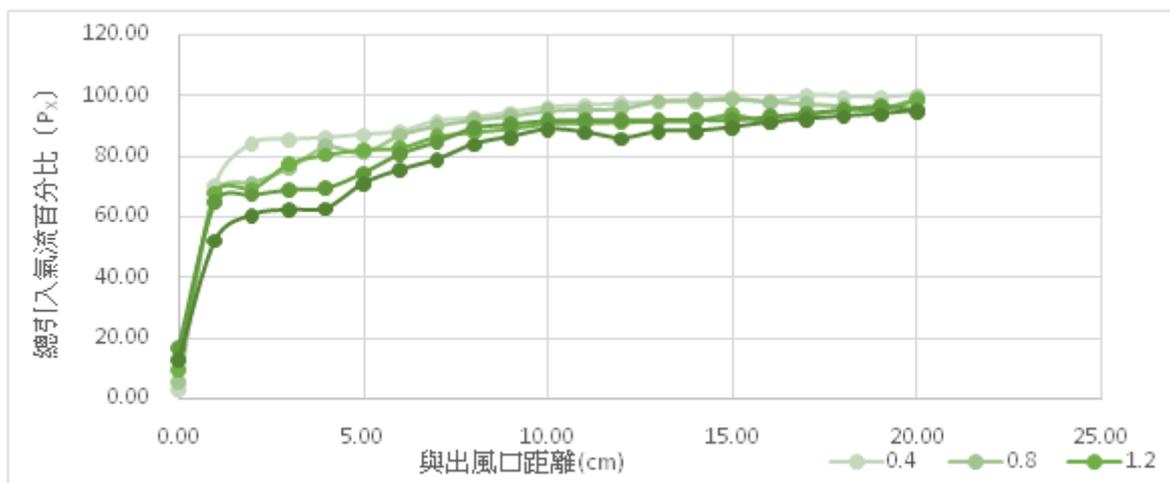


圖 8 總引入氣流百分比 (P_x) 隨距離的分布

與出風口距離		0cm~5cm		5cm~20cm	
編號	口徑	方程式	R ²	方程式	R ²
a	0.4	$y = 3.34\ln x + 79.40$	0.98	$y = 0.71x + 87.21$	0.83
b	0.8	$y = 2.95\ln x + 73.13$	0.98	$y = 0.64x + 87.08$	0.66
c	1.2	$y = 2.77\ln x + 72.64$	0.97	$y = 0.82x + 80.55$	0.88
d	1.7	$y = 2.18\ln x + 66.74$	0.99	$y = 0.79x + 80.89$	0.75
e	2.7	$y = 2.08\ln(x) + 59.77$	0.95	$y = 1.10x + 73.45$	0.84

表 5 總引入氣流百分比 (P_x) 隨距離的分布

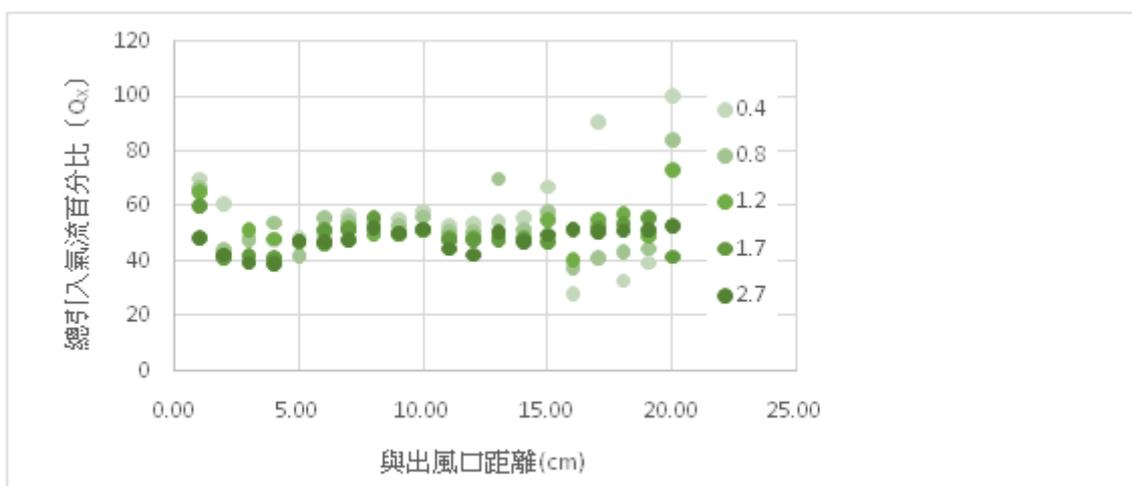


圖 9 引入氣流百分比 (Q_x) 隨距離的分布

2.討論:

1. (圖 8) 中的總引入氣流百分比 P_x 與初步實驗中的引入氣流百分比概念相同，為氣流從出風口流動至目標物過程中引入的所有氣流量。
2. (圖 9) 中的引入氣流百分比 Q_x 為距離出風口 $X-1$ 公分處到 X 公分處的引入氣流量換算的百分比，故無 Q_0 。若同時測量多點位置的溫度，則較接近出風口的儀器可能會影響氣流流動情形，進而改變較遠離出風口的數據。而每次實驗時室溫略有差異，故 Q_x 是利用不同次測量的結果搭配 P_x 推算：(設位置 X 的表面溫度 T_x 、氣腔溫度 T_1 、測量位置 X 時的室溫 $T_{2(x)}$ 、測量位置 X 時氣流位於 $X-1$ 位置的理論溫度 T'_{x-1})

$$P_{X-1} = \frac{T_{X-1} - T_1}{T_{2(X-1)} - T_1} * 100\%$$

$$= \frac{T'_{X-1} - T_1}{T_{2(X)} - T_1} * 100\%$$

$$\rightarrow T'_{X-1} = \frac{P_{X-1}(T_{2(X)} - T_1)}{100\%} + T_1$$

$$\rightarrow Q_X = \frac{T_X - T'_{X-1}}{T_{2(X)} - T'_{X-1}} * 100\%$$

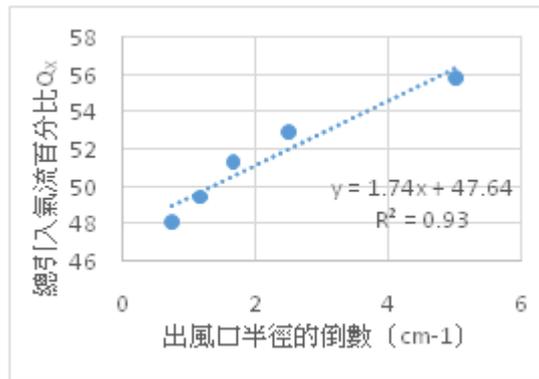


圖 10 出口半徑和 Q_x 關係

- 由 (圖 10) 可知，出風口口徑越小，引入氣流百分比 Q_x 越大，且 Q_x 出風口半徑的倒數呈現性關係： $Q_x(r) = \frac{1.74}{r} + 47.64$ 。而空氣是由氣流外圍引入，引入氣流量應與氣流圓周長成正相關，即與 r 呈正相關。然而，單位時間通過該截面的氣流與氣流的截面積成正相關，即與 r 成二次負相關。兩相相除後，引入氣流百分比 Q_x 與 r 成反比。
- 由 (圖) 可知，總引入氣流百分比 P_x 在距離出風口 0~5 公分是以對數函數的方式遞增，距離出風口 5~20 公分是以線性關係遞增。
- 由 (圖 8) 可知，出風口口徑越小，0~5 公分的 P_x 的方程式係數越大，代表其氣流引入量越多。
- 由 (圖 9) 可知，Q_x 隨距離變化不大，當出風口口徑越小，在距離較遠處，表面溫度較接近室溫，導致引入氣流百分比 Q_x 數據歧異度較大，而具有較大的標準差。而數據有歧異度便說明由於初始氣團引入足夠多的外界氣體，使得最終的氣團性質接近外界環境。

三、探討氣流引入在截面上的情形

(1) 實驗數據

- 目標物與出風口的距離：10 公分
- 電壓：10V
- 室溫：28.6°C

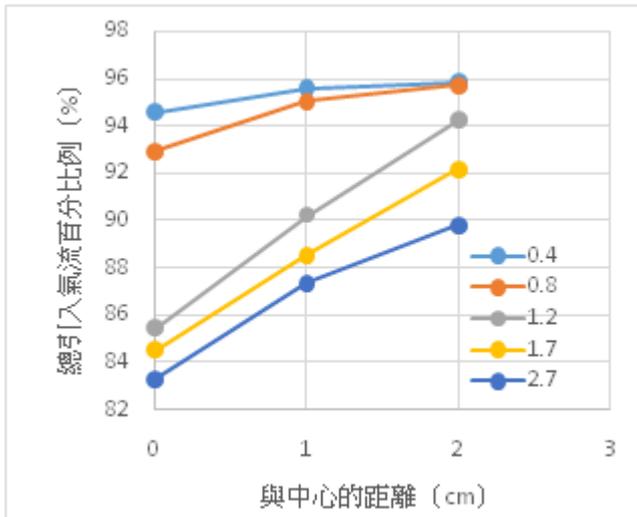


圖 11 氣流引入在截面上的情形

(2) 討論

1.出風口口徑越大，其初始氣團的截面周長越長，氣流引入越多，然而，初始氣團的截面積較大，攜帶較高溫的氣腔氣體較多，故引入氣流百分比較低。因此，不論與中心的距離，編號 a 口徑 0.4 公分的總引入氣流百分比例皆較其他組的數據高，而其溫度也較接近室溫，故總引入氣流百分比例隨距離的變化較不顯著。

2.不論口徑大小，外圍的引入氣流百分比皆較高，顯示環境氣流是藉由周圍引入。除此之外，0~1 公分的總引入氣流百分比例差皆較 1~2 公分的總引入氣流百分比例差大，由此可知，外圍的空氣較容易與外界環境進行交互作用，而較容易受環境氣溫影響，因此與環境溫度差異較小。且外界環境溫度影響的效果隨與環境的距離而遞減，且不為一次倍數關係。

四、探討氣體流動情形

(1) 實驗數據

1、 乾冰

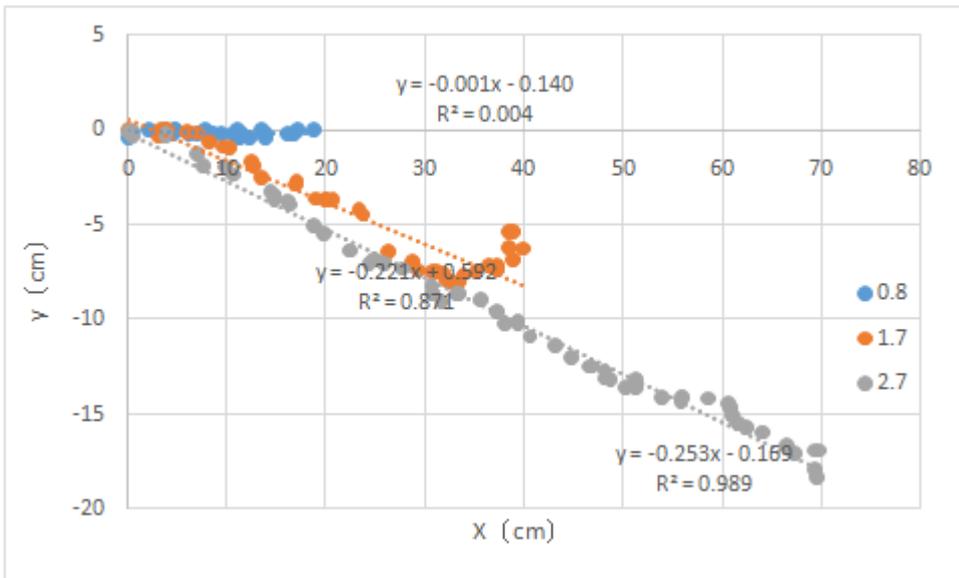


圖 12 氣流的分布

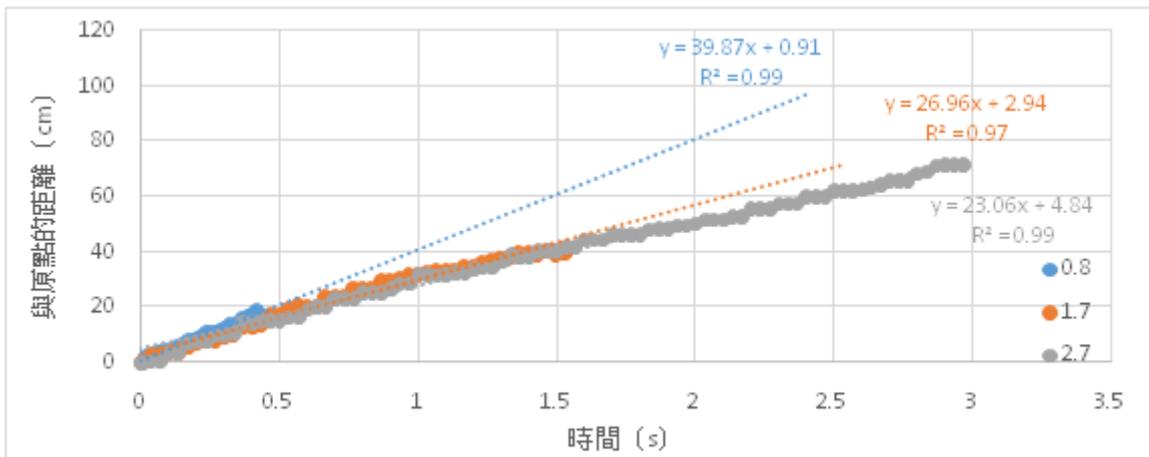


圖 13 氣流隨時間的距離

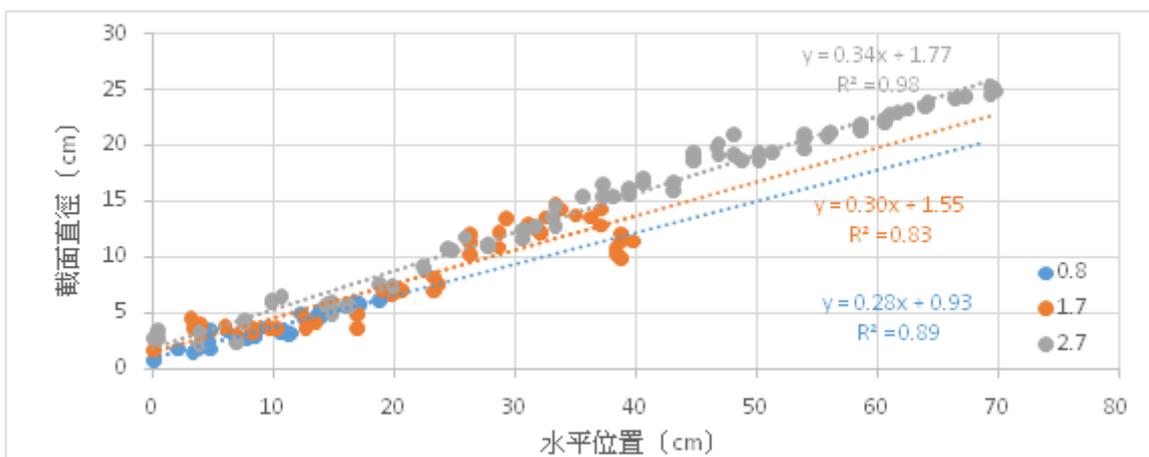


圖 14 氣流截面直徑的分布

2、 造霧器

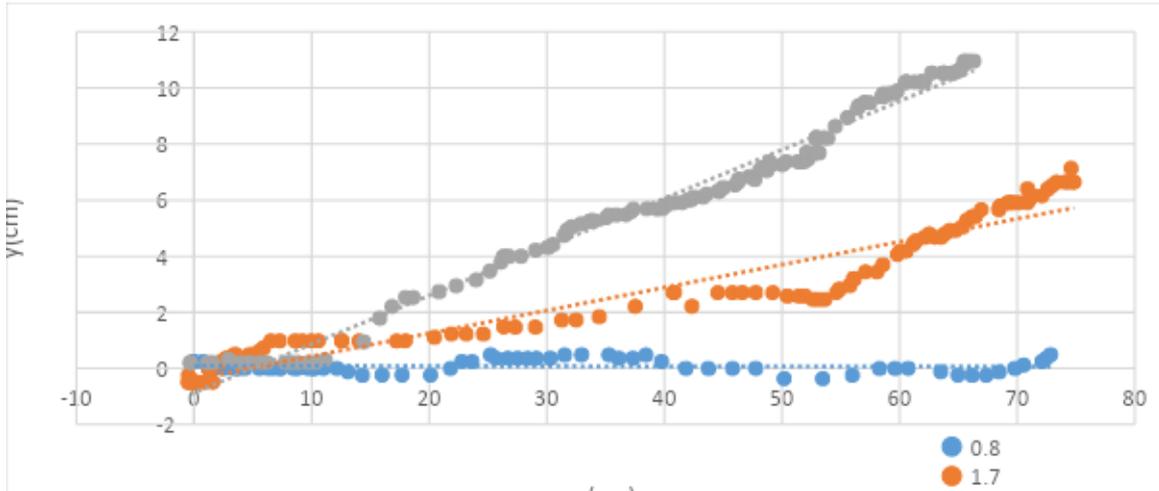


圖 15 氣流的分布

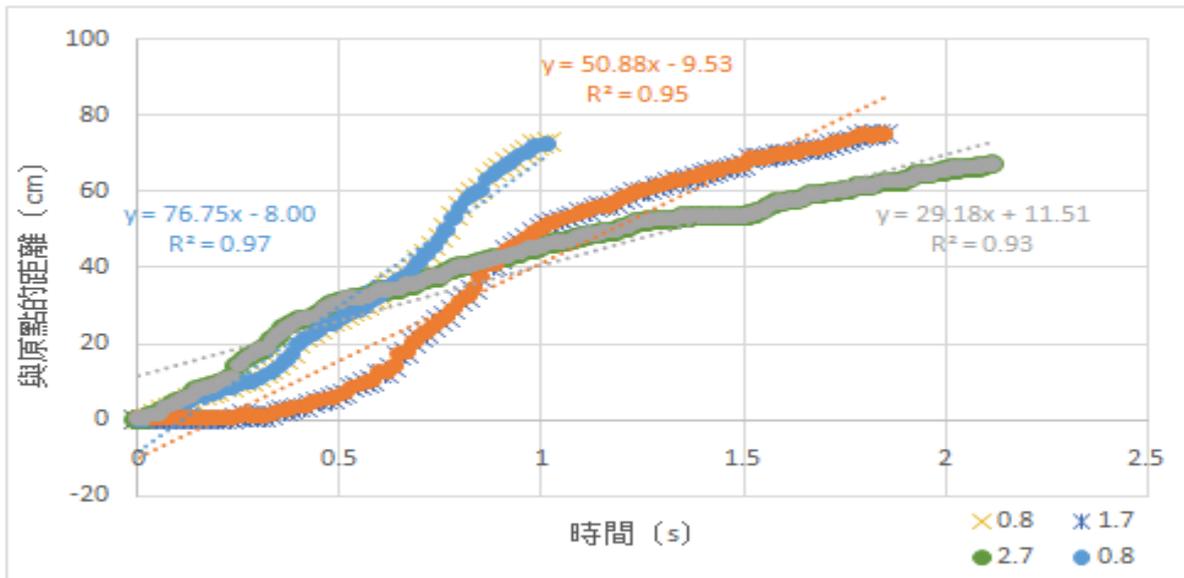


圖 16 氣流隨時間的距離

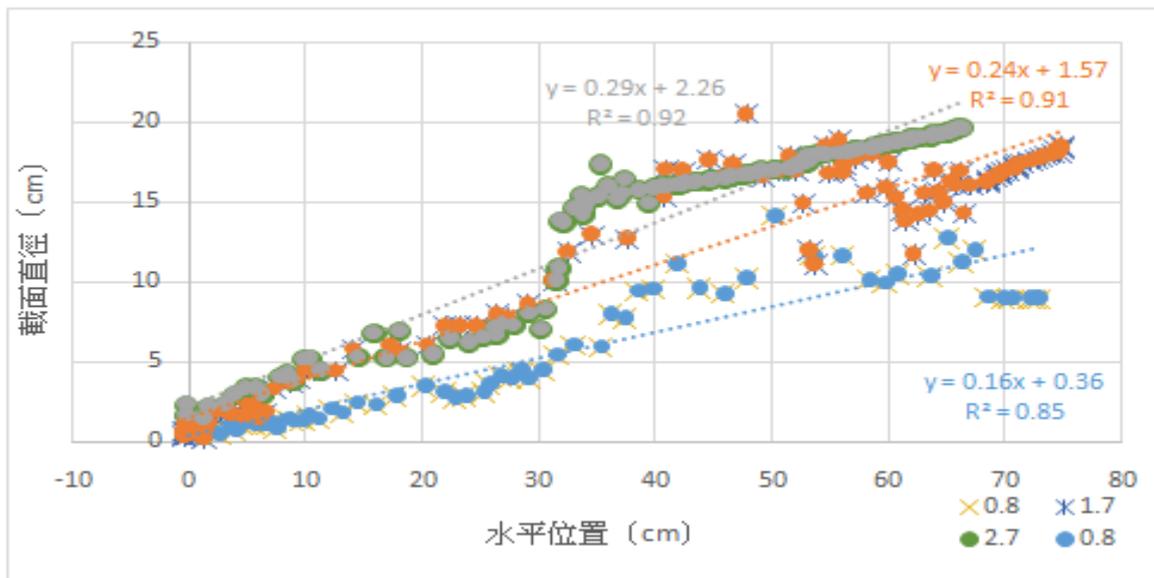


圖 17 氣流截面直徑的分布

(2) 討論

- 1.由實驗結果可知，若採用乾冰，口徑越小，氣流引入百分比越高，溫度較快接近環境溫度，造成凝結的水蒸氣較快蒸發，氣流顏色變淡的速度較快，當氣流顏色與背景差異低於人眼可辨識的極值後，便無法記錄數據，再次證明小口徑的引入效率高；若採用造霧器，由於造霧器會持續產生煙霧，則不受口徑影響。
- 2.不論使用乾冰或造霧器，編號 **b** 口徑 0.8 的氣流斜率較小，幾乎呈現水平分布，編號 **e** 口徑 2.7 的氣流斜率的絕對值較大。
- 3.若採用乾冰，則氣流中含有較多二氧化碳，造成氣流的密度較空氣大，氣流下沉，故（圖 12）的數據分布在第四象限；若採用造霧器，則氣流中含有較多水蒸氣，造成氣流的密度較空氣小，氣流上升，故（圖 15）的數據分布在第一象限。不論使用乾冰或造霧器，數據點趨勢相當符合線性關係，因此將所有數據點垂直投影至趨勢線上，計算其到原點的距離，繪製（圖 13）及（圖 16）以比較風速隨時間與距離的變化關係，由此可知，氣流成等速移動。
- 4.藉由（圖 14）及（圖 17）的趨勢線斜率，可得知氣流移動方向與水平面的夾角，在 **tracker** 軟體中繪製與氣流移動方向垂直的向量，測量水平方向每一點垂直氣流移動方向的截面最大直徑。
- 5.由（圖 5-4-3）可知，巨觀情形下，氣流的截面直徑隨距離原點越遠而呈線性增加，而藉由實驗二可發現，在大於 5 公分處的氣流引入百分比隨距離呈現線性增加，兩者互相呼應。

6.觀察氣流的影片可以發現，氣流周圍的顏色較淡，推測氣流是由外界引入，故口徑較大，其推出的氣流截面周長也較大，但其原有的氣體含量與半徑呈正相關，故混合後的氣體仍較高溫。

伍、討論

一、氣體行為分析

在分析完氣體在路徑和截面上的移動情形後，作者使用以上數據對氣體行為進行分析。當氣體由出風口被釋出之後，初始氣團由於和周圍環境有相對速度，因此與周圍環境產生剪力而引入外界氣體，而先從外圍引入氣流，且由 0~1,1~2,2~3.....公分的單位距離內引入比例變化不大，在引入的過程中，整團氣體因為引入外界氣體而逐漸擴張，使得在截面積隨之擴大。在引入的過程中，剛開始由於相對於環境速度較快，因此引入效應較顯著，使 P_x 在 0~5 公分為對數函數，而在位移 5 公分以上，由於氣團達到終端速度，使引入效率差異不大，而使 P_x 為線性關係。當初始氣團引入足夠量的外界氣團，氣團的性質終將相近於周圍環境。此時，氣流引入效應暫緩，也因此，氣團性質過於接近周圍環境而在特定口徑、特定距離下使 Q_x 產生歧異。

二、氣流分布預測

在 COVID-19 肆虐之時，作者想預測氣體的位置，使人們能夠遠裡病菌可能到達的位置而降低被傳染的風險。近日，有很多新聞報道裡面提及社交距離，其定義即為個體避免暴露於口中飛沫可能觸及範圍，但是目前僅有定性分析而無定量分析。為此，作者合理假設在氣體被釋出後其截面各點均勻引入外界氣體，並且討論當人以圓形的嘴釋出氣體，討論可能擴散範圍，以求得當唾液被噴出後可能的傳染範圍，進行定量分析。

作者用前述的 $Q(x)$ 運算，並在其準確度高的 18 公分內計算，因此，作品較適用於人群密集的空間。為了求得當唾液被噴出後可能的傳染範圍，我用前述的 $Q(x)$ 在實驗準確的範圍 ($0 \leq x \leq 18$) 運算。假設初體積 V_0 、初口徑 R_0 、末體積 V' 、末口徑 R' 。則

$V' = \pi (R')^2 = V_0(1+Q(x))^x = \pi R_0^2(1+Q(x))^x$ ，所以 $R' = \pm R_0 \sqrt{\left(1 + \frac{1.74 + 47.64}{100} x\right)^{1/2}}$ ，因原氣團均勻由外界引

入氣體，所以 $R' = \pm R_0 \sqrt{\left(1 + \frac{1.74 + 47.64}{100} x\right)^{1/2}}$ 為對稱 x 軸的圖形。再將 $Q(x)$ 代換為和 R_0 相關方程

式，即 $R = \pm R \sqrt{\left(1 + \frac{1.74x + 47.64}{100}\right)^x}$ ，使用 MATLAB 軟體繪圖輸入程式碼(於附錄)後得到不同 x 座

標下 y 方向可能位置的圖形，即可得到飛沫可能之傳染範圍。此外，再參考人體器官高度圖，可以大略估計由嘴部釋出的氣體，在經過不同的水平位移後可能到達的範圍：

1. 氣體釋出後，在距離口腔 9 公分處，氣體可能由嘴部擴張至眼睛(黏膜組織)，造成潛在傳染。
2. 在距離口腔 15 公分時，氣體可能由嘴部擴張至肩膀，當手上舉至肩時，會造成潛在傳染。
3. 氣體釋出後，在距離口腔 18 公分時，可以明顯看出氣體體積正劇烈變化，符合實驗模型中預測當初始氣團引入足夠量的外界氣團，使得氣團的性質終將相近於周圍環境的結論。

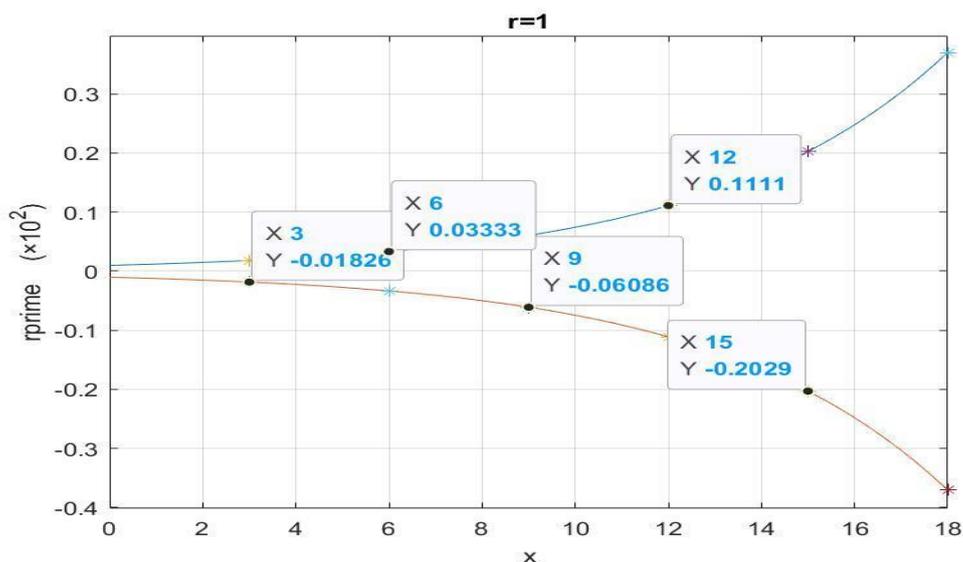


圖 18 $R_0=1.0(\text{cm})$ 的可能傳染範圍

三、病株濃度預測

由於病毒的總數不變，在此假設病株初濃度 M_0 、末濃度 M_x ，其中， x 代表在距出口平 x 處的病株濃度，我們可以合理推論： $M_0V_0 = M_xV'$ ，亦可寫為： $M_0V_0 = M_xV_0(1+Q(x))^x$ ，

即： $M_0 = M_x(1+Q(x))^x$ ，再帶入初始濃度後，即可由圖形求得在距出口平 x 處的病株濃度。此處以 $R_0=1.0(\text{cm})$ 、 $M_0=0.277 \text{ copies}/\text{cm}^3$ ，使用 MATLAB 軟體繪圖，輸入程式碼(於附錄)後得到下方圖表，再進一步放大 $x=6\sim 10\text{cm}$ 處之圖以觀察病毒株變化趨勢。

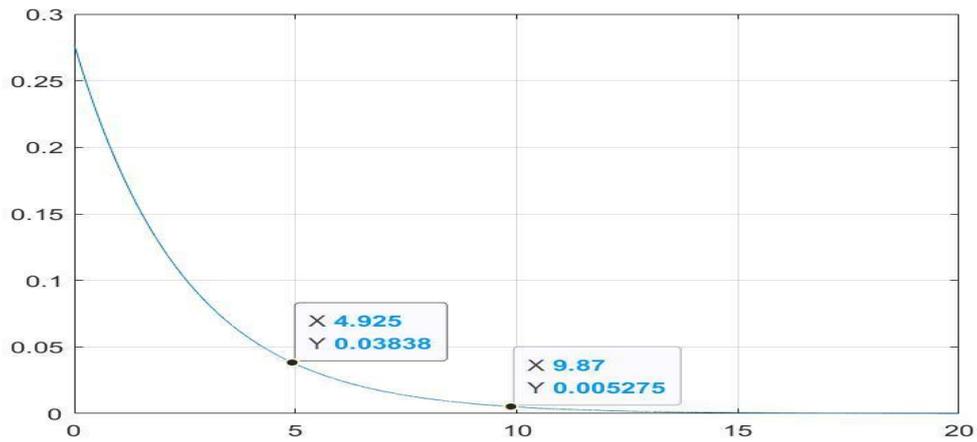


圖 19 $R=1(\text{cm})$ 不同 x 下之病株濃

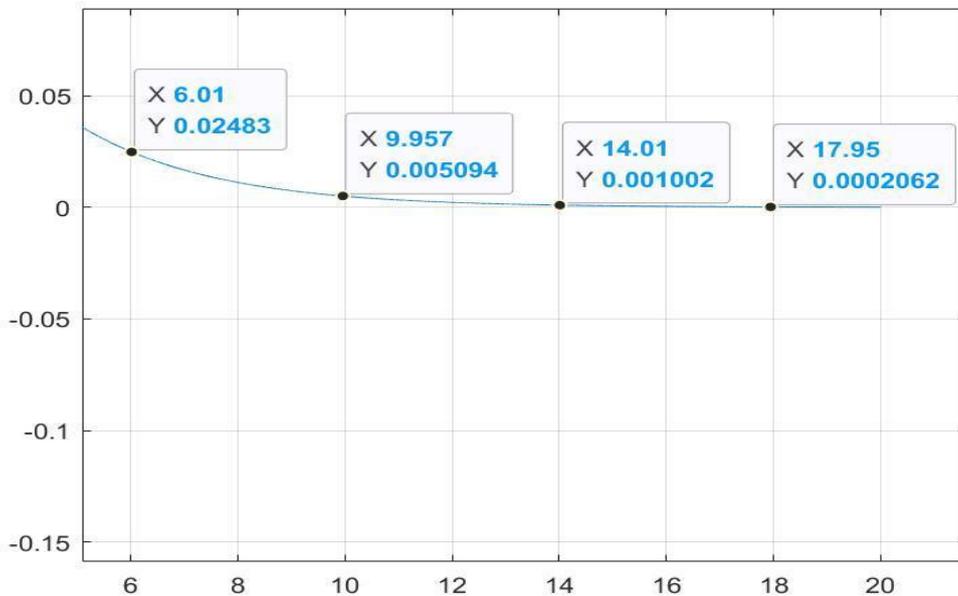


圖 20 $R=1(\text{cm})$ 時放大 $x=6\sim 10(\text{cm})$ 之病株濃度

- 1.由圖可發現在距離口腔 5 公分處，病株濃度約僅降為 1/6 倍。
- 2.由圖可發現在距離口腔 10 公分處，病株濃度降至原本 0.004 倍。
- 3.濃度降低速率由 0~10 公分可明顯看出，但 10 公分後，雖然成比例減少，已難以看出變化，此刻，原氣團已混入高比例外界氣流，而使其近乎外界空氣。
- 4.與美國 CDC 訂定 1.5 公尺安全卻不夠實際的社交距離，作找認為可以由實驗搭配分析，找到不同口徑在對應距離下充分引入外界環境，此距離即應為安全的社交距離

四、本實驗限制

由於本實驗操作於高中實驗室，在儀器上尤其限制。

1. 實驗室中無法永久恆溫，因此僅能在實驗過程中全程開啟空調、關窗、不開電扇，以維持恆溫環境。
2. 本實驗吹出氣體的過程是利用人工推進活塞，為了降低誤差，故僅選取特定時間長度的實驗，去除推進過快或過慢的數據，並由同一人操作。
3. 由於推器裝置無法產生足夠大的風速，無法使所有口徑都能如小口徑般能在實驗觀察期間充分引入外界氣體，因此在訂定社交距離上，此實驗仍僅為較原始模型。

陸、結論與應用

一、結論

此研究發現引入氣流百分比與距離的獨特的函數關係及剖析氣流流動在路徑與上截面情形。

1. 現象觀察

使用越小的口徑，則目標物末溫越接近環境溫度。說明口徑越小引入效率越高。

2 初步實驗

「氣流引入」因吹氣時口徑大小的不同對溫度會造成影響，為證實此現象，我們設計進一步的實驗並探討「氣流引入」過程中的變化。

3.實驗：探討氣流引入在路徑上的情形

總引入氣流百分比 P_x 在距離出風口 0~5 公分是以對數函數的方式遞增，距離出風口 5~20 公分是以線性關係遞增，而 5~10 公分與 10~20 公分的斜率不同，距離 0~10 公分，

口徑越小，遞增越快。另外，不論距離遠近，引入氣流百分比 Q_x 變化不大。

4.實驗：探討氣流引入在截面上的情形

與中心的距離越小，氣流引入百分比越低；與中心的距離越大，氣流引入百分比越高。故外界環境的氣體是由氣團的外圍開始對其影響。

5.實驗：探討氣體流動情形

氣流成等速移動，並在巨觀下，氣流的截面直徑隨距離原點越遠而呈線性增加，而藉由實驗二可發現，在大於 5 公分處的氣流引入百分比隨距離呈現線性增加，兩者互相呼應。

6.討論：氣體動向分析

當氣體由出風口被釋出之後，初始氣團由於和周圍環境有相對速度，因此與周圍環境產生剪力而引入外界氣體，使整團氣體因為引入外界氣體而逐漸擴張，截面積也隨之擴大，當初始氣團引入足夠量的外界氣團，使得氣團的性質終將相近於周圍環境。此時，氣流引入效應也暫緩。

7.討論:探討氣體傳染範圍

與美國 CDC 訂定 1.5 公尺安全卻不夠實際的社交距離，作找認為可以由實驗搭配分析，找到不同口徑能充分引入外界環境的對應距離，此距離即應為安全的社交距離。

二、應用

1. 電腦硬碟的散熱主要有兩個葉片，前葉片往內吹，可使用口徑較大的入風口，使氣流在到達硬碟時維持較低的溫度，而後葉片往外吹，可使用口徑較小的出風口，使氣流開電腦後較快降溫，避免燙傷。
2. 燒開水的水壺上蒸氣溫度高，若使用較小的出風口口徑，能夠引入較大的氣流，降低溫度，避免燙傷。

三、未來展望

1. 將路徑與截面上的分布情形更細節的描述，並將空間中的每個點的溫度皆紀錄，進而推算引入氣流百分比，即可描繪出立體空間中的氣流引入情形，搭配相關的氣體動力學理論，進一步完整地闡述現象。
2. 透過可定速的儀器取代人工推進，且同時其溫度須全程固定，以改進實驗結果並排除人為誤差因素，是理論更完備。
3. 使用紋影法(Schlieren Photography)進行拍攝。透過氣體密度改變帶動折射率改變時，以光

束照射並用儀器偵測光訊號的不同而得以影像化人吹氣情形，藉以驗證此研究之正確性。

4.在進階實驗中使用更多不同口徑，以更大量、更準確數據進一步探討 Q_x 和 r 的關係，以提高可能傳染範圍、病株濃度預測的準確度。

5.在出風口前加裝不同材質的物質，以模擬不同材質的口罩，並探討何種材質隔離效果較佳，並探討加裝材質後之傳染範圍。

柒、參考資料

一、Serway & Jewett Principle of Physics 初版 臺中市 蒼海書局
47~89 2003

二、David Halliday & Robert Resnick & Jearl Walker Fundamentals of
Physics Extended 8th Edition 初版 臺北縣 全華圖書 14-
1~14-38 2008

三、John W M Bush & Eline Dehandschoewercker & Lydia Bourouiba
2014 Violent expiratory events: On coughing and sneezing
Journal of Fluid Mechanics 745 537-563

捌、附錄

MATLAB 程式碼

1. 傳染範圍:

```
clear
```

```
clc
```

```
close all
```

```
d=0.01;
```

```
x=0:d:17;
```

```
r=random;
```

```
numerator=47.64+1.74/r;
```

```
denominator=100;
```

```
temp=1+(numerator/denominator);
```

```
rprime=r*(sqrt(temp).^x);
```

```

rprime=rprime./100;
plot(x,rprime)
hold on
plot(x,(-1).*rprime)
grid
xlabel(['x']);
ylabel(['rprime (×10^2)'])
title(['r=' num2str(r)])

```

%等間隔多標出 n 個點

```

n=6;
N=length(x)-1;
for i=1:n
nn=N/n*i+1;

i
nn
x(nn)
rprime(nn)

plot(x(nn),rprime(nn),'*');
plot(x(nn),(-1)*rprime(nn),'*');

```

end

2. 傳染濃度:

```

clear
clc
close all
d=0.001;
x=0:d:20;

```

```

r= random;
numerator=47.64+1.74/r;
denominator=100;
temp=1+(numerator/denominator);
rprime=r*(sqrt(temp).^x);
rprime=rprime./100;
plot(x,rprime)
hold on
plot(x,(-1).*rprime)
grid
xlabel(['x']);
ylabel(['rprime (×10^2)'])
title(['r=' num2str(r)])

```

%等間隔多標出 n 個點

n=5: %由於改成 200 的範圍，所以取 5 個點才能整除

```

N=length(x)-1;
for i=1:n
nn=N/n*i+1;

i
nn
x(nn)
rprime(nn)

plot(x(nn),rprime(nn),'*');
plot(x(nn),(-1)*rprime(nn),'*');

end

```


【評語】 160017

本作品探討氣流引入效應之影響，延續討論氣流的行為並聚焦於探討氣流引入。以熱影像觀測紀錄氣流的流場。在具體量化、分析與討論相對薄弱。相較於參展的優秀作品而言，內容的嚴謹度、與完整性仍有進步與充實的空間。